

**PENGOPTIMUMAN PRA-OLAHAN AIR SISA KILANG
KELAPA SAWIT (POME) MENGGUNAKAN KAEDAH
ELEKTRO-PENGGUMPALAN**

JAMILULLAIL BIN AHMAD TAIB

UNIVERSITI TUN HUSSEIN ONN MALAYSIA

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, setinggi-tinggi kesyukuran ke hadrat illahi di atas kekuasaanNya tesis ini berjaya dihasilkan. Semoga ilmu yang terdapat di dalam tesis ini akan memberi manfaat yang berguna kepada sesiapa yang membacanya.

Ucapan penghargaan ini ditujukan kepada Dr. Zawawi Daud di atas tunjuk ajar dan bimbingan beliau sebagai penyelia utama dalam memberi pandangan, teguran, nasihat dan bantuan sepanjang tempoh pengajian sehingga selesainya penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada kakitangan Makmal Kejuruteraan Air Sisa, Makmal Kejuruteraan Analisis Persekitaran dan Makmal Alam Sekitar kerana memberikan kerjasama di sepanjang tempoh pengajian terutamanya En. Mohd Redzuan b. Mohd Nor, En. Hazri b. Mokhtar, Pn. Fadzlyana bt. Mustafa, Pn. Nadiah bt. Khaled dan Pn. Mahfuzah bt. Zainal Abidin di atas segala bantuan dan tunjuk ajar. Tidak terlupa kepada Professor Hj Ab Aziz b. Ab Latiff yang telah banyak memberi tunjuk ajar sepanjang tempoh pengajian ini. Penghargaan juga ditujukan kepada Universiti Tun Hussein Onn Malaysia kerana penajaan geran untuk penyelidikan ini. Kesempatan ini juga saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Kilang Kelapa Sawit Pertubuhan Peladang Negeri Johor, Kahang kerana memberikan kebenaran untuk pengambilan sampel efluen dan di atas nasihat serta bimbingan yang telah diberikan.

Buat ayah serta bonda tersayang, Ahmad Taib b. Hj. Ismail dan Noraini bt. Abu Kassim, jutaan terima kasih di atas doa dan sokongan tanpa henti serta dorongan adik-adik saya Mohd Nazri, Atiqah dan Nadzmi. Sokongan rakan-rakan seperjuangan En Kasin Sebli, En. Izat Yahya dan Pn. Nuradila Ab Aziz, tidak saya lupakan.

~

Untuk keluarga tercinta, ayahanda Ahmad Taib dan bonda Noraini Abu Kassim serta adik-adik ku Mohd Nazri, Atiqah dan Nadmi. Kehadiran kamu dan sokongan kamu adalah yang terindah aku miliki di dunia ini.

Untuk insan teristimewa Esther Anchak, meskipun kamu singgah sebentar di hati ku, kehadiran kamu cukup bermakna untuk hidup ku.

~



ABSTRACT

Palm oil industry is one of the industries that contribute pollution in Malaysia. The discharge of palm oil mill effluent (POME) which contains organic materials is the main cause of serious water pollution in Malaysia. Nowadays, electro coagulation treatment systems are widely used to treat water and wastewater. The purpose of this study was to determine the effectiveness of electro-coagulation treatment in treating palm oil mill wastewater. This study examines the characteristics of POME collected from an oil palm mill in Kahang, Johor. This study also examines the optimum conditions of the removal of pollutants in POME such as in the effects of current density, effective distance between the electrodes, pH and deposition time. In addition, the efficiency of the treatment was determined by analyzing the particle size after treatment. Two types of electrodes are used in these studies which are aluminum and iron. The study also looked into the effects of electro coagulation treatment system for the removal of COD, ammonia nitrogen, suspended solids and color from POME samples. The electro coagulation experiments were conducted using 4-liter volume glass reactor and the samples were electrolyzed by direct current power supply for 30 minutes. Experimental results show that the Al-Al pair plate achieved the optimum conditions of current density, distance between electrodes, pH and deposition time respectively at 70.7 A/m^2 , 5 cm, pH 4 and 30 minutes. Al-Al plates successfully remove 81.4%, 83%, 84.7% and 90.4% respectively of COD, ammonia nitrogen, suspended solids and color at the optimum condition. Fe-Fe plate pairs showed optimal conditions achieved at 53.3 A/m^2 , 10 cm, pH 4 and 15 minutes respectively for the current density, distance between electrodes, pH and deposition time. COD, ammonia nitrogen, suspended solids and color

successfully removed as much as 81.4%, 92.6%, 95.6% and 77.9% respectively. The combination of Al-Fe plates showed 80.7% COD, 86.3% AN, 88.1% SS and 89.6% Color were removed in the optimum condition. The current density, distance between electrodes, pH and deposition time achieved at 53.3 A/m², 5 cm, pH 4 and 15 minutes respectively. The combination of Fe-Al pair plate showed the same optimum conditions on the use of Al-Fe plate pairs. Removal of COD, ammonia nitrogen, suspended solids and color respectively by 82.9%, 88.3%, 87.2% and 90.3% was achieved. Particle size analysis showed that on the average size of the particles before treatment was 20 microns. Doses of 500, 1000, 2000, 2500 and 3000 mg / L Al₂SO₄, respectively resulted in flock sizes of 96, 101, 113, 116 and 86 µ for Al-Al pair plate. In addition, mixing the same dose of coagulant in POME resulted in particle size of 73, 86, 92, 126, 105 and 101 µ, respectively. In general, the results showed that the electro coagulation treatment system is capable of treating POME and can be an alternative treatment for the palm oil industry.



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

ABSTRAK

Industri minyak sawit adalah merupakan salah satu industri yang menyumbang kepada pencemaran di Malaysia. Pelepasan air sisa kilang minyak kelapa sawit (POME) yang mengandungi pelbagai bahan organik menjadi punca kepada pencemaran air yang serius di Malaysia. Sistem olahan elektropenggumpalan digunakan secara meluas untuk mengolah air dan air sisa. Kajian ini dimulakan dengan mengenal-pasti ciri-ciri awal POME dari Kilang Pemprosesan Minyak Sawit di Kahang, Johor. Kajian ini juga bertujuan untuk melihat keberkesanan sistem olahan elektro-penggumpalan terhadap air sisa kilang kelapa sawit. Kajian ini melihat dan mencari keadaan optimum penyingkiran bahan pencemar di dalam POME iaitu kesan pengaruh ketumpatan arus, jarak berkesan antara elektrod, pH dan masa enapan. Di samping itu, analisis terhadap saiz partikel selepas proses olahan dijalankan untuk melihat kecekapan kaedah elektropenggumpalan. Dua jenis bahan elektrod iaitu aluminium dan ferum akan digunakan di dalam kajian ini. Kajian ini juga melihat kesan pengaruh sistem olahan elektropenggumpalan terhadap penyingkiran COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna dari sampel POME. Ujikaji elektropenggumpalan dijalankan menggunakan reaktor kaca berisipadu 4 liter dan sampel diaruskan oleh bekalan kuasa arus terus selama 30 minit. Keputusan ujikaji menunjukkan pasangan plat Al-Al menyingkirkan parameter COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna pada keadaan optimum ketumpatan arus, jarak antara elektrod, pH dan masa tahanan masing-masing 70.7 A/m², 5 cm, pH 4 dan 30 minit. Plat Al-Al berjaya menyingkirkan 81.4%, 83%, 84.7% dan 90.4% masing-masing COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna pada keadaan optimum tersebut. Pasangan plat Fe-Fe pula

menunjukkan keadaan optimum di capai pada 53.3 A/m², 10 cm, pH 4 dan 15 minit masing-masing untuk ketumpatan arus, jarak antara elektrod, pH dan masa tahanan. Penyingkiran COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna di capai masing-masing 81.4%, 92.6%, 95.6% dan 77.9%. Gabungan pasangan plat Al-Fe pula menunjukkan sejumlah 80.7%, 86.3%, 88.1% dan 89.6% parameter COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna berjaya disingkirkan pada keadaan optimum ketumpatan arus, jarak antara elektrod, pH dan masa tahanan masing-masing 53.3 A/m², 5 cm, pH 4 dan 15 minit. Gabungan pasangan plat Fe-Al pula menunjukkan keadaan optimum yang sama pada penggunaan pasangan plat Al-Fe. Penyingkiran COD, ammonia nitrogen, pepejal terampai dan warna masing-masing sebanyak 82.9%, 88.3%, 87.2% dan 90.3% telah dicapai. Analisis saiz partikel pula menunjukkan bahawa saiz asal partikel sebelum olahan adalah pada 20 μ unit. Penggunaan dos 500, 1000, 2000, 2500 dan 3000 mg/L Al₂SO₄, masing-masing menunjukkan saiz flok 96, 101, 113, 116 dan 86 μ untuk pasangan plat Al-Al. Manakala di dapati saiz partikel POME terbentuk sehingga 73, 86, 92, 126, 105 dan 101 μ masing-masing pada kuantiti bahan bantu gumpal yang sama. Daripada keputusan ujikaji yang telah dijalankan, sistem olahan elektropenggumpalan dilihat berupaya mengolah POME dengan baik dan boleh menjadi olahan alternatif kepada POME.



PTTA
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
-----	---------	------------

HALAMAN JUDUL
HALAMAN AKUAN
DEDIKASI
PENGHARGAAN
ABSTRAK
ABSTRACT
KANDUNGAN
SENARAI JADUAL
SENARAI RAJAH

I

PENGENALAN

1.1	Pengenalan	1
1.2	Pernyataan Masalah	2
1.3	Objektif Kajian	5
1.5	Skop Kajian	5
1.6	Kepentingan Kajian	6

II

KAJIAN LITERATUR

2.1	Industri minyak Sawit Malaysia	7
2.2	Pemprosesan Minyak Sawit	9
2.3	Olahan sisa kilang kepala sawit di kilang PPNJ, Kahang.	11
2.4	Teknologi Elektrokimia	12
2.5	Ciri-ciri Proses Elektrokimia	17
2.6	Elektro-Pengoksidaan Sebatian Terlarut	18
2.7	Elektro-Penggumpalan	21
2.7.1	Penggumpalan	33
2.7.2	Flotasi	34

III

METODOLOGI

3.1	Pengenalan	35
3.2	Tapak Kajian	38
3.3	Persampelan	39
3.4	Peralatan dan Analisis	39
3.5	Penentuan Ketumpatan Arus Optimum	40
3.6	Luas Kawasan Sentuhan Elektrod	40
3.7	Ketumpatan Arus	40
3.8	Penentuan Jarak Antara Elektrod Optimum	41
3.9	Penentuan pH Optimum	42
3.10	Penentuan Masa Enapan Optimum	42
3.11	Prosedur Analisis	43
3.11.1	pH	43
3.11.2	Keperluan Oksigen Kimia (COD)	43
3.11.3	Warna	43
3.11.5	Pepejal Terampai	44
3.11.6	Nitrogen Ammonia	44

IV

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.0	Pengenalan	45
4.1	Ciri-ciri Air Sisa Kilang Kelapa Sawit (POME)	46
4.2	Penentuan Ketumpatan Arus Optimum	47
4.3	Penentuan Jarak Optimum Antara Elektrod	63
4.4	Penentuan pH Optimum	79
4.5	Penentuan Masa Enapan Optimum	90
4.6	Saiz Partikel	103

V

KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Kesimpulan	110
5.2	Cadangan	112

APPENDIK	113
-----------------	-----

RUJUKAN	123
----------------	-----

SENARAI JADUAL

Jadual	Tajuk	Muka Surat
1.1	Sifat-sifat tipikal POME	3
1.2	Had Pelepasan Efluen Kilang Kelapa Sawit	4
2.1	Pengeluaran Dunia untuk 17 Jenis Minyak & Lemak	7
2.2	Kajian Literatur Proses Elektro-penggumpalan	26
4.1	Ciri-ciri parameter sisa efluen kilang kelapa sawit (POME)	45



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

SENARAI RAJAH

Rajah	Tajuk	Muka Surat
2.1	Carta alir proses pengilangan minyak kelapa sawit	9
2.2	Rajah Skematik proses elektropenggumpalan	20
2.3	Pelanggaran zarah koloid dengan cas-cas elektrod	24
3.1	Rajah Skematik elektropenggumpalan	35
3.2	Carta alir metodologi kajian	36
3.3	Lokasi kilang sawit PPNJ Kahang	37
4.1	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Al(Penentuan voltan optimum)	47
4.2	Kesan penggunaan plat Al-Al terhadap perubahan pH(Penentuan voltan optimum)	48
4.3	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Fe (Penentuan voltan optimum)	49
4.4	Kesan penggunaan plat Fe-Fe terhadap perubahan pH(Penentuan voltan optimum)	51
4.5	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Fe(Penentuan voltan optimum)	52
4.6	Kesan penggunaan plat Al-Fe terhadap perubahan pH(Penentuan voltan optimum)	53
4.7	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Al(Penentuan ketumpatan arus optimum)	54
4.8	Kesan penggunaan plat Fe-Al terhadap perubahan pH(Penentuan ketumpatan arus optimum)	55

4.9	Peratus penyingkiran COD menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan ketumpatan arus optimum)	57
4.10	Peratus penyingkiran AN menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan ketumpatan arus optimum)	58
4.11	Peratus penyingkiran SS menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan ketumpatan arus optimum)	60
4.12	Peratus penyingkiran warna menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan ketumpatan arus optimum)	61
4.13	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Al(Penentuan jarak optimum)	63
4.14	Kesan penggunaan plat Al-Al terhadap perubahan pH(Penentuan jarak optimum)	64
4.15	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Fe(Penentuan jarak optimum)	65
4.16	Kesan penggunaan plat Fe-Fe terhadap perubahan pH(Penentuan jarak optimum)	66
4.17	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Fe(Penentuan jarak optimum)	67
4.18	Kesan penggunaan plat Al-Fe terhadap perubahan pH(Penentuan jarak optimum)	64
4.19	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Al(Penentuan jarak optimum)	70
4.20	Kesan penggunaan plat Fe-Al terhadap perubahan pH(Penentuan jarak optimum)	71
4.21	Peratus penyingkiran COD menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan jarak optimum)	72
4.22	Peratus penyingkiran AN menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan jarak optimum)	73
4.23	Peratus penyingkiran SS menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan jarak optimum)	75

4.24	Peratus penyingkiran warna menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan jarak optimum)	77
4.25	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Al(Penentuan pH optimum)	79
4.26	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Fe(Penentuan pH optimum)	81
4.27	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Fe(Penentuan pH optimum)	82
4.28	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Al(Penentuan pH optimum)	84
4.29	Peratus penyingkiran COD menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan pH optimum)	85
4.30	Peratus penyingkiran AN menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan pH optimum)	86
4.31	Peratus penyingkiran SS menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan pH optimum)	87
4.32	Peratus penyingkiran warna menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al(Penentuan pH optimum)	89
4.33	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Al(Penentuan masa enapan optimum)	91
4.34	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Fe(Penentuan masa enapan optimum)	92
4.35	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Al-Fe(Penentuan masa enapan optimum)	94
4.36	Peratus penyingkiran COD, ammonia, SS dan warna menggunakan plat Fe-Al(Penentuan masa enapan optimum)	95
4.37	Peratus penyingkiran COD menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan masa enapan optimum)	97
4.38	Peratus penyingkiran AN menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan masa enapan optimum)	98

4.39	Peratus penyingkiran SS menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan masa enapan optimum)	99
4.40	Peratus penyingkiran Warna menggunakan plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al (Penentuan masa enapan optimum)	101
4.41	Pengagihan saiz partikel efluen kilang kelapa sawit (tanpa olahan)	103
4.42	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 500 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	104
4.43	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 1000 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	105
4.44	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 1500 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	105
4.45	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 2000 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	105
4.46	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 2500 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	106
4.47	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 3000 mg/L aluminium sulfat (Al-Al)	106
4.48	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 500 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	107
4.49	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 1000 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	107
4.50	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 1500 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	107
4.51	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 2000 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	108
4.52	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 2500 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	108
4.53	Pengagihan saiz partikel POME menggunakan 3000 mg/L aluminium sulfat (Fe-Fe)	108

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Kelapa sawit atau *Elaeis Guineensis* mula diperkenalkan di Malaysia sekitar tahun 1870-an sebagai tanaman hiasan berasal dari Afrika Selatan. Pada sekitar tahun 1917, penanaman kelapa sawit mula dimajukan sebagai tanaman komersil atau dagangan. Industri minyak sawit Malaysia telah mencatatkan kemajuan memberangsangkan sebagai salah satu pengeluar dan pengeksport terbesar untuk pasaran minyak sawit dunia (Ahmad *et al.*, 2003).

Malaysia kini mempunyai lebih 500 juta pokok kelapa sawit. Kajian dan ujikaji dijalankan saban hari untuk mendapatkan biji benih yang dapat mengeluarkan hasil dan kualiti minyak yang lebih baik. Pokok kelapa sawit yang telah matang akan mengeluarkan buah sawit yang di sebut buah tandan segar (FFB). Setiap pokok akan mengeluarkan 12 FFB setahun selama 20 hingga ke 30 tahun. FFB yang dituai akan dimasukkan ke dalam lori dan kemudiannya di bawa ke kilang pemprosesan secepat

mungkin. Kilang pemprosesan buah kelapa sawit kebiasaannya terletak berdekatan dengan ladang-ladang kelapa sawit.

1.2 Pernyataan Masalah

Malaysia merupakan pengeluar terbesar minyak sawit dunia, menghasilkan jumlah keluaran sebanyak 17.5 juta tan minyak sawit mentah dan 4.5 juta tan pati sawit pada tahun 2009 (MPOB, 2011). Walaupun industri minyak sawit banyak menyumbang kepada pendapatan negara, namun begitu ianya juga membawa kepada masalah pencemaran alam sekitar yang serius.

Air sisa terhasil dari kilang kelapa sawit melalui proses-proses pengekstrakan minyak kelapa sawit seperti pensterilan buah tandan segar, proses hidrosiklon, penjernihan minyak dan pengekstrakan minyak dari tangki pencernaan serta proses pemerahan. Wong et al., (2005) menganggarkan bahawa untuk setiap 1 metrik tan minyak sawit yang terhasil akan terjana bersamanya 2.5-3.0 m³ air sisa.

POME yang terhasil daripada pemprosesan minyak sawit mengadungi 95-96% air, 0.6-0.7% minyak, 4-5% bahan pejal, 2-4% pepejal terampai dan berwarna kecoklatan (Ahmad et al., 2005). Kandungan bahan organik yang tinggi di dalam POME berpotensi untuk mencemari air, tanah, sungai dan laut. Dianggarkan bahawa tidak kurang sejuta kilogram POME dihasilkan daripada industri ini memasuki sungai-sungai di Malaysia. POME yang dihasilkan daripada pemprosesan kelapa sawit yang seterusnya dilepaskan ke sungai akan mengganggu ekosistem tumbuhan akuatik di dalam sungai. Jadual 1.1 menunjukkan sifat-sifat tipikal POME.

Jadual 1.1 : Parameter tipikal POME (NG Wun Jern, 2006)

Parameter	Nilai purata
BOD ₅	23 000 mg L ⁻¹
COD	55 000 mg L ⁻¹
Minyak	10 000 mg L ⁻¹
Asid Lemak	1000 mg L ⁻¹
pH	4-5
Suhu	45-70°C

Semua nilai yang ditunjukkan adalah dalam mg/L, kecuali pH.

Beberapa kaedah rawatan konvensional telah dilaporkan untuk digunakan dalam merawat POME yang melibatkan penggunaan kolam aerobik, anaerobik dan fakultatif sifar pelepasan teknologi, permohonan tanah, ultraturasan serta teknologi membran. Di Malaysia, salah satu kaedah yang paling banyak diguna pakai ialah kolam anaerobik. Walau bagaimanapun, masa pengekalan sistem kolam anaerobik dan fakultatif berbeza 20-200 hari dan 10-15 hari masing-masing.

Walaupun sistem ini seolah-olah menjadi kaedah rawatan biologi yang paling berkesan, kekangan kawasan di tanah untuk membina kolam dan panjang masa tahanan yang diambil untuk merawat POME merupakan salah satu kekurangan kepada kaedah rawatan ini. Selain itu, sebilangan besar sumber air diperlukan semasa rawatan biologi.

Sehubungan itu, olahan POME dalam tempoh masa yang singkat tanpa melibatkan kawasan tanah yang luas dengan menggunakan kaedah penggumpalan dan pengelompokan adalah disarankan. Penggunaan bahan kimia dalam rawatan air sisa juga telah dilaporkan berjaya oleh ramai penyelidik.

Kawalan alam sekitar yang menyeluruh terhadap industri minyak sawit bermula dengan enakmen Akta Kualiti Alam Sekitar, 1974 dan penubuhan Jabatan Alam Sekitar pada tahun 1975. Enakmen Akta Kualiti Alam Sekitar, 1974 digubal untuk menyediakan suatu saluran yang sah untuk mengawal pelepasan efluen dari pemprosesan minyak sawit. Jabatan Alam Sekitar telah mengeluarkan senarai Had Pelepasan untuk Kualiti Pelepasan Efluen ke dalam air bagi dipatuhi oleh industri-industri yang berkenaan. Jadual 1.2 dibawah menunjukkan senarai had pelepasan bagi efluen kilang kepala sawit.

Jadual 1.2: Had Pelepasan Efluen Kilang Kelapa Sawit (Undang-undang Malaysia, 2003)

Parameter	Unit	Had Parameter
pH	-	5-9
BOD ₃	mg/L	100
COD	mg/L	*
Pepejal Terampai	mg/L	400
Ammonia Nitrogen	mg/L	150
Minyak dan Gris	mg/L	50
Jumlah Nitrogen	mg/L	200

*Tiada had pelepasan selepas tahun 1984

Analisis yang dibuat berdasarkan Jadual 1.1 menunjukkan nisbah BOD/COD adalah 0.41 iaitu melebihi nilai 0.1. Oleh itu, rawatan biologi merupakan rawatan terbaik bagi menyingkirkan bahan organik di dalam POME. Walaubagaimanapun, rawatan fiziko-kimia yang dicadangkan melalui kaedah elektro-penggumpalan ini amat diperlukan bagi membantu proses penguraian bahan organik yang sukar terurai.

Sistem olahan elektro-penggumpalan merupakan salah satu kaedah yang telah diperkenalkan untuk mengolah air sisa kelapa sawit. Dengan kelebihan seperti pengoperasian yang mudah, masa operasi yang singkat, penjanaan enap cemar yang rendah serta bebas penggunaan bahan kimia (Mouedhen *et al.*, 2008), elektro-penggumpalan mampu untuk menjadi kaedah olahan alternatif untuk pelbagai jenis air sisa bagi industri-industri yang terdapat di Malaysia.

Kajian yang telah dijalankan adalah untuk mengetahui keberkesanan rawatan air sisa atau efluen kelapa sawit dengan menggunakan kaedah elektro-penggumpalan dengan elektrod ferum. Kajian ini juga, bertujuan untuk mengetahui kesan yang akan terhasil daripada ujikaji elektro-penggumpalan tersebut terhadap air sisa dari segi kandungan COD, amonia, pepejal terampai, warna dan kekeruhan.

1.3 Objektif Kajian

Objektif utama kajian ini adalah untuk menganalisa keberkesanan penggunaan plat Al dan Fe sebagai elektrod di dalam olahan POME. Kajian ini akan dijalankan secara berperingkat melingkungi objektif-objektif berikut :

- a) Mengenal pasti ciri-ciri POME dari sesebuah kilang kelapa sawit.
- b) Menentukan keadaan optimum kaedah elektropenggumpalan iaitu ketumpatan arus, jarak antara elektrod, pH dan masa enapan terhadap penyingkiran COD, AN, SS dan warna.
- c) Menentukan perbezaan kecekapan penyingkiran menggunakan Al dan Fe sebagai elektrod dalam analisis saiz partikel.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan bertujuan untuk melihat ciri-ciri POME dan melihat kecekapan kaedah elektro-penggumpalan dalam mengolah sampel POME, terutamanya dalam menyingkirkan COD, ammonia-nitrogen, warna dan pepejal terampai (SS) menggunakan plat Aluminium (Al) dan Ferum (Fe) sebagai elektrod. Sampel POME diambil dari Kilang Sawit Pertubuhan peladang Negeri Johor (PPNJ), yang terletak di Kahang dan akan dianalisa di Makmal Analisa Persekitaran UTHM. Untuk mencapai objektif ini, kajian ini akan melihat kepada kesan voltan, jarak antara plat, pH dan masa enapan dalam penyingkiran COD, AN, SS dan warna. Eksperimen berskala makmal akan dijalankan menggunakan sel elektrolisis di mana plat Al-Al, Fe-Fe, Al-Fe dan Fe-Al digunakan sebagai elektrod. Kecekapan menggunakan plat aluminium akan di dianalisa berbanding plat besi.

1.5 Kepentingan Kajian

Kajian ini dijalankan adalah untuk mengetahui tentang keberkesanan proses olahan elektro-penggumpalan dalam merawat air sisa kelapa sawit yang dihasilkan oleh kilang pemprosesan kelapa sawit. Keberkesanan olahan elektro-penggumpalan akan dapat meningkatkan kualiti efluen (POME) dan memenuhi standard pelepasan yang dibenarkan oleh Jabatan Alam Sekitar.

Keberkesanan dari hasil kajian ini akan dapat mengurangkan pencemaran daripada pengaliran efluen (POME) terhadap pelepasan aliran air. Oleh itu, diharapkan agar olahan ini dapat menjadi salah satu alternatif bagi proses olahan (POME) di Malaysia yang berkesan pada masa akan datang.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Industri Minyak Sawit Malaysia

Satu hektar pokok kelapa sawit mampu menjana 10 hingga 35 tan FFB setahun (Ma *et al.*, 1996). Malaysia dan Indonesia merupakan pengeluar minyak sawit terbesar dunia dengan menjana lebih 80% pengeluaran (Wahid, 2007). Malaysia menyumbang 51% pengeluaran minyak sawit dunia dan 62% pengeksportan dunia (Wahid, 2007). Kuantiti pengeluaran minyak dunia ditunjukkan dalam Jadual 1.1 di bawah.

Namun, industri minyak sawit telah mencetuskan kebimbangan terhadap alam sekitar. Industri ini menjana pengeluaran sisa buangan seperti tandan buah kosong (EFB), serat, tempurung, dan sisa efluen kilang sawit (POME). Dianggarkan sebanyak 50 juta tan sisa buangan dijana dari indutri sawit Malaysia pada tahun 2005 (Yacob *et al.*, 2006).

Jadual 2.1:Jadual pengeluaran Dunia untuk 17 Jenis Minyak & Lemak:1999-2008 ('000 Tan)

Oil World Annual (1999-2008) & Oil World Weekly (2008)

Minyak/Lemak	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Minyak Sawit	20625	21867	23984	25409	28259	30987	33846	37142	38674	43118
Minyak Isirong Sawit	2559	2698	2947	3044	3347	3581	3976	4344	4496	4989
MinyakKacang Soya	24794	25563	27828	29850	31241	30729	33612	35278	37354	37164
Minyak Biji Kapas	3893	3850	4052	4221	3987	4367	4978	4903	5043	5029
Minyak Kacang tanah	4697	4539	5141	5178	4508	4706	4506	4382	4194	4445
Minyak Bunga Matahari	9308	9745	8200	7610	8917	9423	9785	11191	10843	10687
Minyak Sawi	13247	14502	13730	13343	12698	15088	16294	18510	18746	19847
Minyak Jagung	1935	1966	1962	2016	2017	2025	2133	2264	2319	2408
Minyak Kelapa	2399	3261	3499	3098	3270	3040	3237	3083	3114	3130
Minyak Zaitun	2475	2540	2761	2773	2904	3110	2965	2798	3020	3081
Minyak Castor	435	497	515	438	425	500	540	535	524	603
Minyak Bijan	686	705	747	807	810	831	868	860	831	803
Minyak Biji Rami	734	705	648	581	594	635	625	695	693	643
Jumlah Minyak Sayuran	87787	92438	96014	98368	102977	109022	117365	125985	129851	135947
Mentega	5885	5967	6010	6331	6394	6476	6666	6730	6918	7123
Lemak Haiwan	8171	8202	7693	8062	8018	8230	8386	8548	8538	8585
Minyak Ikan	1413	1411	1131	946	1005	1129	988	1001	1057	1076
Lemak Khinzir	6619	6739	6780	7016	7228	7367	7577	7855	7632	7740
Jumlah Lemak haiwan	22088	22319	21614	22355	22645	23202	23617	24134	24145	24524
Jumlah Keseluruhan	109875	114757	117628	120723	125622	132224	140982	150119	153996	160471

2.2 Pemprosesan Minyak Sawit

Setiap tandan buah sawit segar (FFB) mengandungi ratusan bijian kecil yang terdiri daripada kekacang atau tempurung kecil dibaluti lapisan luar berwarna oren keemasan yang mengandungi minyak sawit (Borja dan Banks, 1994).

Tandan sawit ini akan disteril di dalam wap pada tekanan tiga bar dimana selalunya buah-buah ini akan terlerai dengan sendirinya dari tangkai. Buah-buah yang terlerai ini seterusnya akan dilembutkan menggunakan wap di dalam mesin pencerna. Buah-buah yang telah lembut ini kemudiannya akan ditekan menggunakan mesin khas untuk mengeluarkan minyaknya. Minyak mentah ini biasanya mengandungi masing-masing 48% minyak, 45% air dan 7% pepejal (Chow & Ho, 2000). Air panas kemudiannya di tambah untuk mengurangkan kelikatan minyak dimana pati minyak ini akan terasing di dalam tangki penjernihan (Borja & Banks, 1994). Pati minyak sawit pada permukaan tangki penjernihan kemudiannya akan dibersihkan, dikeringkan dan kemudiannya akan dijual sebagai minyak sawit mentah (CPO) kepada kilang penapisan untuk proses seterusnya.

Arus bawah dari tangki penjernihan akan diempar untuk mengeluarkan fasa berat yang terdiri daripada pepejal dan air. Fasa ini akhirnya akan di lepaskan sebagai POME. Rajah 1.2 di bawah menunjukkan kaedah pemprosesan konvensional buah sawit di kilang

Proses pengilangan minyak sawit memerlukan kuantiti air yang besar. POME dihasilkan daripada basuhan hidrosiklon dan proses pembersihan kilang (Hassan et al., 2004). Ketika proses mengekstrak minyak sawit dijalankan, dianggarkan 1.5 tan POME dihasilkan dari 1 tan buah sawit segar (FFB) yang di proses (Zinatizadeh et al., 2006). Wu et al., (2007) menganggarkan 5 hingga 7.5 tan air diperlukan untuk memproses 1 tan minyak sawit mentah dimana lebih 50% air itu akan akhirnya membentuk POME.

RUJUKAN

Abe Beagles (2004), Electrocoagulation (EC)-Science and Application, Cal-Neva Water Quality Research Institute, Inc. in Newcastle, California.

Abuzaid, N. S., Bukhari, A. A. and Al-Hamouz, Z. M. (1998) Removal of bentonite causing turbidity by electrocoagulation. *Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environment Engineering* **A33** (7), 1341-1358.

Abuzaid. N.S., Bukhari. A. A. and Al-Hamouz., “Ground water coagulation using soluble stainless steel electrodes” *Advances in Environmental Research* 6 (2002) 325-333.

Ahmad, A. L., Bhatia, S., Ibrahim, N. and Sumathi, S. (2005). Adsorption of Residual Oil from Palm Oil Mill Effluent Using Rubber Powder. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 22(3): 371-379.

Ahmad, A. L., Bhatia, S., (2005). Ultrafiltration Behaviour in the Treatment of Agro-industry Effluent. Pilot Scale Studies. *Chemical Engineering Science* 60, 5385-5394

Ahmad, A. I., Ismail, S. and Bhatia, S. (2003) Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Membrane Technology. *J. Desalination*, 157, 87-95.

Al-Malack, M.H., Abuzaid N.S. & El-Mubarak, A.H. (1999) Coagulation of Polymeric Wastewater Discharged by A Chemical Factory. *Wat. Res.*, 33 (2), 521-529.

American Public Health Association Publication, Washington DC, USA.

Amirtharajah, A. dan Mills, K.M. (1982) Rapid Mix Design for Mechanism of Alum Coagulation. *Journal American Water Works Association*. Vol. 74(4). 210-216.

Amirtharajah dan O'Melia, C. (1990) Coagulation Process, Destabilization Mixing and Flocculation. *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*. USA, 269-365.

Amokrane A., Comel C., Veron J., (1997) Landfill leachate pretreatment by Coagulation-Flocculation. *Wat.Res.* Vol. 31 (11), 2775-2782

Amosov, V. V., Zil'brtman, A. G., Kucheryavykh, E. I., Sorkin, E. I., Tsarik, L. Y., Eppel, S. A., Timoshek, V. E. and Titov, I. P. (1976) Experience in local treatment of wastewaters from petrochemical production. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils (English translation of Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel)* **12** (11 to 12), 850-852.

APHA., (2005). Standard methods for examination of water and wastewater. 21st edition.

Avetisyan, D. P., Tarkhanyan, A. S. and Safaryan, L. N. (1984) Electroflotationcoagulation removal of Carbon black from acetylene production wastewaters. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **6** (4), 345-346.

AWWA., (2005). Water treatment plant design. Mc Graw Hill. 1-15.

Azarian GH, AR Mesdaghinia, F Vaezi, R Nabizadeh, D Nematollahi (2007), Algae Removal by Electro-coagulation Process, Application for Treatment of the Effluent from an Industrial Wastewater Treatment Plant, *Iranian J Publ Health*, Vol. 36, No.4, 2007, pp.57-64

- Baklan, V. Y. and Kolesnikova, I. (1996) Influence of electrode material on the electrocoagulation. *Journal of Aerosol Science* **27** (Supplement 1), S209-S210.
- Balmer, L. M. and Foulds, A. W. (1986) Separating oil from oil-in-water emulsions by electroflocculation/electroflotation. *Filtration and Separation* **23** (6), 366-370.
- Bard, A. J. and Faulkner, L. R. (2001) *Electrochemical methods - Fundamentals and applications*, John Wiley and Sons, New York.
- Barkley, N. P., Farrell, C. W. and Gardner-Clayson, T. W. (1993) Alternating Current Electrocoagulation for Superfund Site Remediation. *Air and Waste* **43** (May), 784-789.
- Bejankiwar. R. S., "Electrochemical treatment of cigarette industry wastewater: feasibility study" *Water Research* 36 (2002) 4386-4390
- Bejankiwar. R. S., Lokesh. K. S. and Gowda. T. P. H., "Electrochemical pretreatment of wastewater from color photograph processing unit". *J. Envir. Eng.* Nov-2003, 1061-1063.
- Belongia, B. M., Haworth, P. D., Baygents, J. C. and Raghavan, S. (1999) Treatment of alumina and silica chemical mechanical polishing waste by electrodecantation and electrocoagulation. *Journal of the Electrochemical Society* **146** (11), 4124-4130.
- Benefield. L. D., Judkins. J. F. and Weand. B. L., "Process chemistry for water and wastewater treatment", Prentice-Hall, Englewood cliffs, NJ, 1982.
- Bochkarev, G. R., Lebedev, V. F. and Nogin, N. M. (1977) Some structural characteristics of iron oxyhydrate obtained electrochemically. *Soviet Mining Science* **13** (2), 35-38.

- Bonilla. C. F., "Possibilities of electronic coagulator for water treatment, Water Sewage, 85(1947)21,22,44,45.
- Borja, R., and Banks, C.J. (1994). Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent Using an Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Biomass and bioenergy*. 6(5): 381-389.
- Bozin, S. A. and Mikhailov, V. I. (1990) Two methods of electrochemical coagulation of wastewaters. *Elektronaya Obrabotka Materialov* (1), 35-37.
- Bukhari. A. A, Abuzaid. N. S., Abdulappa. M. K. and Esa.M. H., "Pre-Treatment of Domestic Wastewater in Electrochemical Cell." The Fifth Engineering Conference, March 1999-Volume 3, 293-301.
- Cames, M. C., Tanguy, G., Leclerc, J. P., Sanchez-Calvo, L., Valentin, G., Rostand, A., Muller, P. and Lapicque, F. (2001) Design rules of a pilot cell for treatment of concentrated liquid wastes by electrocoagulation - electroflotation. In *6th World Congress of Chemical Engineering Conference Media CD*, Melbourne, Australia.
- Chen Gouhua., "Electrochemical technologies in wastewater treatment" *Separation and Purification*(2003), -31.
- Chen. X., Chen. G. and Yue. P. L., " Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation" *Separation Purification Technology*. 19 (2000)65-76.
- Cheng, W.P. (2002) Comparison of hydrolysis/coagulation behavior of polymeric and monomeric iron coagulants in humic acid solution. *Chemosphere*. Vol. 47, 963-969.

Chow, M.C. and Ho, C.C. (2000). Surface Active Properties of Palm Oil With Respect to the Processing of Palm Oil. *Journal of Oil Palm Research*. 12(1): 107-116.

Clemens, O. A. (1981) Purifying oily wastewater by electrocoagulation. *Plant Engineering* (September 17), 124-125.

Coro, E., and Laha, S., (2001). Color removal in groundwater through enhanced softening process. *Wat .Res* **7**: 1851 - 1854.

Dennett, K.E., Amirtharajah, A., Studstill., Moran, T.F. dan Gould, J.P. (1995) Humic Substance Removal and Minimization of Trihalomethanes by ferric Chloride Coagulation. AWWA Research foundation, Report no. 90655, USA.

Do, J.-S. and Chen, M.-L. (1994) Decolourization of dye-containing solutions by electrocoagulation. *Journal of Applied Electrochemistry* **24** (8), 785-790.

Donini, J. C., Kan, J., Szykarczuk, J., Hassan, T. A. and Kar, K. L. (1994) Operating cost of electrocoagulation. *Canadian Journal of Chemical Engineering* **72** (6), 1007-1012.

Drondina, R. V., Kheml'nitskaya, T. M., Strokach, P. P., Romanov, A. M. and Bobrinskii, V. M. (1985b) Combination methods of purifying underground waters polluted with Selenium and Strontium. *Elektronaya Obrabotka Materialov* (6), 78-79.

Duan J., Gregory J., (2003) Coagulation by Hydrolyzing Metal Salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100-102, 475-502

Edris Bazrafshan, Amir Hossein Mahvi, Simin Naseri, Ali Reza Mesdaghinia (2006) Performance Evaluation of Electrocoagulation Process for Removal of

Chromium (VI) from Synthetic Chromium Solution Using Iron and Aluminium Electrodes, *Turkish Journal Engineering Environment Sciences*, 32(2008), 59-66.

Feng. C., Sugiura. N., Shimada. S. and Maekawa. T., "Development of a high performance electrochemical wastewater treatment system." *Journal of Hazardous Materials B* 103 (2003) 65-78.

Fukui, Y. and Yuu, S. (1980) Collection of submicron particles in electro-flotation. *Chemical Engineering Science* **35**, 1097-1105.

Gavrilyuk, A. I. (1981) Calculation of a criterion of the irreversible electrocoagulation of heterogeneous particles. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **3** (3), 195-199.

Gavrya, N. A., Novosel'tseva, L. V., Shevchenko, L. Y., Yutina, A. S., Kompaniets, V. I. and Shatokhina, E. A. (1981) Use of electrocoagulation to intensify the processes of thickening and filtration of tap water precipitates. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **3** (6), 527-528.

Ge. J., Qu. J., Lei. P. and Liu. H., "New bipolar electrocoagulation- electroflotation process for the treatment of laundry wastewater" *Separation and Purification Technology* 36(2004)33-39.

Gnusin, N. P., Zabolotskaya, L. I. and Vitul'skaya, N. V. (1985) Effect of pH, electrical and hydrodynamic regimes on electrocoagulation treatment of solutions containing Cd^{2+} . *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **7** (4), 32-35.

- Gnusin, N. P., Zabolotskii, V. I. and Sheretova, G. M. (1986) Electrocoagulation in natural water pretreatment in the production of deionized water by electrodialysis. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **8** (5), 67-70.
- Grechko, A. V., Marchenko, P. V. and Shevchenko, M. A. (1982) Removal of pesticides from greenhouse drainage wastewater. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **4** (1), 56-58.
- Gregor, J.E., Nokes, C.J. and Fenton, E. (1997) Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation. *Water resources*. Vol. 31(12), 2949-2958.
- Groterud, O. and Smoczynski, L. (1992) Purification of wastewater by electrolysis at continuous flow. *Journal of Water Management Research - Sweden (Vatten)* **48** (1), 36-40.
- Gupta, B.S. dan Hashim, M.A. (1996) Coagulation dan Flocculation; In *Water Treatment Plants* (edited by Sastry, C.A.) Narosama Publishing House, New Delhi.
- Hassan, M.A., Yacob, S., Shirai, Y. and Hung, Y.T., (2004). Treatment of palm Oil Wastewaters In: Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H., and Yapijakis, C. eds. *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 719-735.
- Holt, P. K., Barton, G. W. and Mitchell, C. A. (2001) The role of current in determining pollutant removal in a batch electrocoagulation reactor. In *6th World Congress of Chemical Engineering*, Conference Media CD, Melbourne, Australia.

- Hulser, P., Kruger, U. A. and Beck, F. (1996) The cathodic corrosion of aluminium during the electrodeposition of paint: electrochemical measurements. *Corrosion Science* **38** (1), 47-57.
- Ibanez, J. G., Singh, M. M. and Szafran, Z. (1998) Laboratory Experiments on Electrochemical remediation of the environment. Part 4: color removal of simulated wastewater by electrocoagulation-electroflotation. *Journal of Chemical Education* **75** (8 - August), 1040-1041.
- Ivanishvili, A. I., Przhgorlinskii, V. I. and Kalinichenko, T. D. (1987) Comparative evaluation of the efficiency of electrocoagulation and reagent methods of clarifying waste water. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **9** (5), 468-469.
- Jabatan Alam Sekitar (1999). Industrial Processes & Environment (Handbook No. 3) crude palm Oil Industry. Malaysia: Aslita Sdn. Bhd.
- Jiang, J.Q. dan Graham, N.J.D. (1998) Observation of the comparative hydrolysis/precipitation behavior of polyferric sulphate and ferric sulphate. *Water Resources*. Vol. 32(3), 930-935.
- Kaliniichuk, E. M., Vasilenko, I. I., Schepanyuk, V. Y., Sukhoverkhova, N. A. and Makarov, I. A. (1976) Treating refinery wastewaters to remove emulsified oils by electrocoagulation and electroflotation. *International Chemical Engineer* **16** (3), 434-435.
- Kharlamova, T. A. and Gorokhova, L. T. (1982) The use of electrocoagulation for the purification of phenol-containing effluents. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **4** (2), 157-158.

Kim. T. H., Park. C., Lee. J., Shin. E. B. and Kim. S., "Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process (fluidized biofilm process-chemical coagulation-electrochemical oxidation.)" *Wat. Res.* 36(2002) 3979-3988.

Kobyas Mehmet., Can.O.T. and Bayramoglu.M., " Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes." *Journal of Hazardous Materials* (2003) 16-178.

Koparal, A. S. and Ogutveren, U. B. (2002) Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials* **B89**, 83-94.

Kumar, P. R., S. Chaudhar, K. Khilar, and C. Mahajan. 2004. Removal of Arsenic from Water by Electrocoagulation. *Chemosphere*. 55: 1245 – 1252

Kylefors, K., Andreas, L. and Lagerkvist.A. (2003) A comparison of small-scale, pilot-scale test for predicting leaching behavior of landfilled wastes. *Waste Management*. Vol. 23(1), 45-59.

Lai. C. L., and Lin. S. H."Treatment of chemical mechanical polishing wastewater by electrocoagulation system performances and sludge settling characteristics" *Chemosphere* 54(2004) 235-242.

Lee. J., Lee. K., Ho Hong. S., Hee Kim. K., Hun Lee. B. and Heaok Lim. J., "Residual chlorine distribution and disinfection during electrochemical removal of dilute ammonia from an aqueous solution." *Journal of Chemical engineering of Japan*, vol.35,No. 3, pp. 285-289, (2002).

Lin. S. H. and Wu. C. L., "Electrochemical removal of nitrite and ammonia for aquaculture." *Wat. Res. Vol. 30. No. 3*, pp 715-721, (1996).

- Lin. S. H., Shyu. C. T. and Sun. M. C., "Saline wastewater treatment by electrochemical method", *Water Research* 32 (1998).
- Lin. S.H. and Wu. C. L., "Electrochemical nitrite and ammonia oxidation in seawater." *J. Environ. Sci. Health*, A32(8), 2125-2138 (1997).
- Ma, A.N., Y. Tajima, M. Asahi and J. Hannif, (1996). A Novel Treatment Process for Palm Oil Mill Effluent. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM) Technology, No.19, pp: 1-8.
- Maatta, R. and Tabakov, D. (1987) Possibilities for purification of effluents from pesticide production using magnetic treatment and electrocoagulation. *Aqua Fennica* 17 (2), 239-244.
- Mameri, N., Lounici, H., Belhocine, D., Grib, H., Piron, D. L. and Yahiat, Y. (2001) Defluoridation of Sahara water by small plant electrocoagulation using bipolar aluminium electrodes. *Separation and Purification Technology* 24 (1-2), 113-119.
- Mameri, N., Yeddou, A. R., Lounici, H., Belhocine, D., Grib, H. and Bariou, B. (1998) Defluoridation of septentrional Sahara water of North Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminium electrodes. *Water Research* 32 (5), 1604-1612.
- Martinen, S. K., Kettunen, R.H. Sormunen, K.M. Soimasuo, R.M. and Rintala, J.A. (2002) Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. *Chemosphere*, Vol. 46, 851-858.

Matis, K. A. and Zouboulis, A. I. (1995) Electrolytic flotation: An unconventional technique. In *Flotation science and engineering* (Ed, Matis, K. A.) Marcel Dekker, New York.

Matteson, M. J., Dobson, R. L., Glenn, R. W. J., Kukunoor, N. S., Waits, W. H. I. and Clayfield, E. J. (1995) Electrocoagulation and separation of aqueous suspensions of ultrafine particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **104** (1 - November), 101-109.

McGhee, Terence J. 1991. Water Supply and Sewerage, 6th Ed. Singapore: McGraw-Hill.

Mohammad, A.W., Jahim, M.D., Anuar, N., (2007). *Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment and Biosources Recovery using Ultrafiltration Membrane: Effect of Pressure on Membrane Fouling*. J.Biochemical Engineering 35, 309-317.

Mohd Faiqun Ni'am, Fadil Othman, Johan Sohaili and Zulfa Fauzia, Removal of COD and Turbidity to Improve Wastewater Quality Using Electrocoagulation Technique, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, Vol 11, No 1 (2007):198-205

Mollah. M. Y. A., Schennach. R., Parge. J. R. and Cocke. D. I., “ Electrocoagulation (EC) science and application”. *Journal of Hazardous Materials* B84(2001)29-41.

Mouedhen, G., Feki, M., Wery, M. D. P. Ayedi, H.F. (2008). Behaviour of Aluminium Electrodes in Electrocoagulation Process. *Journal of Hazardous Materials* 150, 124-135.

Malaysian palm Oil Board: http://econ.mpob.gov.my/economy/EID_Review06.htm (accessed on January 2010)

- Nikolaev, N. V., Kozlovskii, A. S. and Utkin, I. I. (1982) Treating natural waters in small water systems by filtration with electrocoagulation. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **4** (3), 244-247.
- Novikova, S. P., Shkorbatova, T. L. and Sokol, E. Y. (1982) Purification of effluents from the production of synthetic detergents by electrocoagulation. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **4** (4), 353-357.
- Ogutveren, U. B., Goenen, N. and Koparal, S. (1992) Removal of dye stuffs from wastewater: Electrocoagulation of Acilan Blau using soluble anode. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Environmental Science and Engineering* **A27** (5), 1237-1247.
- Onyegbado, J.C. and Igwe, C.C. (2007). A Review of Palm Oil Mill Effluent (POME) Water Treatment. *Global journal of Environment Research*, 1(2), 56-62.
- Osipenko, V. D. and Pogorelyi, P. I. (1977) Electrocoagulation neutralization of Chromium Containing effluent. *Metallurgist (English translation of Metallurg)* **21** (9 - 10), 44-45.
- Paul.A.B., "Electrolytic treatment of turbid water in package plant" 22nd WEDC Conference, F water quality and supply, 1996, 286-288.
- Pazenko, T. Y., Khalturina, T. i., Kolova, A. F. and Rubailo, I. S. (1985) Electrocoagulation treatment of oil-containing wastewaters. *Zhurnal PrikladnoiKhimii (English translation)* **58** (11), 2567-2571.
- Poon. C. P. C. and Brueckner. T .G. "Physicochemical treatment of wastewater-seawater mixture by electrolysis." *Journal WPCF*, Volume 47, No 1, January 1975, 66-78.

- Pouet, M. F. and Grasmick, A. (1995) Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation. *Water Science and Technology* 31 (3-4), 275-283.
- Pouet, M. F., Persin, F. and Rumeau, M. (1992) Intensive treatment by electrocoagulation-flotation-tangential flow in microfiltration in areas of high seasonal population. *Water Science and Technology* **25** (12), 247-253.
- Pozhidaeva, E. Y., Sinitsyna, L. G., Akul'shina, V. D. and Reznikova, S. S. (1989) Thorough purification of electroplating plant effluent by electrocoagulation. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **11** (7), 659-661.
- Pretorius, W. A., Johannes, W. G. and Lempert, G. G. (1991) Electrolytic iron flocculant production with a bipolar electrode in series arrangement. *Water SA* **17** (2), 133-138.
- Przhegorlinskii, V. I., Ivanishvili, A. I. and Grebenyuk, V. D. (1987) Dissolution of aluminum electrodes in the electrocoagulation treatment of water. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **9** (2), 181-182.
- Ramirez, E. R. (1982) Physiochemical Treatment of rendering wastewater by electrocoagulation. In *Proceedings of the 36th Industrial Waste conference Purdue University*, 437-446.
- Ramirez, E. R., Barber, L. K. and Clemens, O. A. (1977) Physiochemical Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Proceedings of the 32nd Industrial Waste conference May 10 - 12, 1977, Purdue University* **May**, 183-188.
- Rubach, S. and Saur, I. F. (1997) Onshore testing of produced water by electroflocculation. *Filtration and Separation* **34** (8), 877-882.

Rubim. A. L., "Aqueous-Environmental chemistry of metals", Ann Arbor Science Publishing Inc., Ann Arbor, MI, 1974.

Sawyer. C. N. Mc Carty. P.L. and Parkin. G.F. (1994) Chemistry for Environmental Engineering. McGraw-Hill. Inc. New York.

Shen. F., Gao. P., Chen. X and Chen. G., "Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater", Chem. Eng. Sci. 58(2003) 987-993.

Sleptsov, G. V., Gladkii, A. I., Sokol, E. Y. and Barskaya, L. S. (1988) Precipitation of electrocoagulation solids in the treatment of spent wash solution. *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* **10** (2), 168-169.

Song, S., He, z., Qiu, J., Xu, L., Chen, J. (2007). Ozone Assisted Electrocoagulation for Decolorization of C.I. Reactive Black 5 in Aqueous Solution: An Investigation of the Effect of Operational Parameters. *Sep. Purif. Technol.* 55, 238-245.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Strokach. P. P., "Electrochem. Ind. Process. Bio. 55(1975)375

Stuart. E. E., "Electronic water purification progress report on electronic coagulator. A new device which gives promise of unusually speedy and effective results", Water Sewage 84(1946)24-26.

Syrbu, V. K., Drondina, R. V., Romanov, A. M. and Ershov, A. I. (1986) Combined electroflotocoagulation apparatus for water purification. *Elektronaya Obrabotka Materialov* (1), 57-59.

Trebouet, D., Schlumpf, J.P., Jaouen, P. and Quemeneur, F. (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes, *Water Resource*, 35, 2935-2942.

Undang-undang Malaysia, (2003) Akta Kualiti Alam Sekitar. Malaysia: MDC Publisher Sdn. Bhd.

Urase, T. Salequzzaman, M., Kobayashi, S., Matsuo, T. Yamamoto, K. and Suzuki, N. (1997) Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level. *Water Science Technology*. Vol. 36, 349-356.

Vershinina, V. V. and Rogovets, I. E. (1978) Purification of fluorine-containing effluent by electrochemical methods. *Steklo i Keramika (English Translation)* (9), 2-3.

Vik, E. A., Carlson, D. A., Eikum, A. S. and Gjessing, E. T. (1984) Electrocoagulation of potable water. *Water Research* **18** (11), 1355-1360.

Vik, E., Carlson, S. and Eikum, A. (1994) "Electro-coagulation of potable water". *Water Res.* 11, 1355-1600

Vlyssides. A. G., Loizidou. M., Karlis. P. K., Zorpas. A. A. and Papaioannou. D. "Electrochemical oxidation of textile dye wastewater using Pt/Ti electrode, *Journal of Hazardous Materials B70* (1999) 41-52.

Vlyssides. A.G., Karlis. P. K., Rori. N. and Zopras. A. A., "Electrochemical treatment in relation to pH of domestic wastewater using Ti/Pt electrodes. *Journal of Hazardous Materials B95* (2002) 215-226

- Wahid, B. 2007. Overview of Malaysia palm Oil Industry 2006, Malaysian palm Oil Board: http://econ.mpob.gov.my/economy/EID_Review06.htm (accessed on January 2010)
- Wang, C.T., Chou, W.L., Kuo, Y.M. (2009). Removal of COD from Laundry Wastewater by Electrocoagulation/Electrofloatation. *J. Hazard. Mater.* 164, 81-86.
- Weintraub, M. H., Gealer, R. L., Golovoy, A., Dzieciuch, M. A. and Durham, H. (1983) Development of Electrolytic Treatment of Oily wastewater. *Environmental Progress* 2 (1), 32-37.
- Woytowich, D. L., Dalrymple, C. W., Gilmore, F. W. and Britton, M. G. (1993) Electrocoagulation (CURE) Treatment of Ship Bilgewater for the U.S. coastguards in Alaska. *Marine Technology Society Journal* 27 (1), 62-67.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, M.D., Anuar, N., (2007). Palm Oil mill Effluent (POME) Treatment and Biosources Recovery using Ultrafiltration Membrane: Effect of Pressure on Membrane Fouling. *J. Biochemical Engineering* 35, 309-317.
- Yacob, S.R., Shirai, Y., Hasan, M.A., Wakisaka, M., Subash, S., (2006) Start up-Operation of Semi-commercial Closed Anaerobic Digester for Palm Oil mill Effluent. *J. Process Biochemistry* 41, 962-964.
- Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Abdullah, A.Z., Mashitah, M.D., Isa, M.H., Najafpour, G.D., (2006). Process Modeling and Analysis of Palm oil Mill Effluent Treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge Fixed Film Bioreactor using Response Surface Methodology. *J. Water Research* 40, 3193-3208.

Zouboulis, A. I., Loukidou, M.X. and Christodoulou, K. (2001) Enzymatic treatment of sanitary landfill leachate. *Chemosphere*. Vol 44, 1103-1108.

Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X. and Matis, K.A. (2004) 'Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils', *Process Biochem.*, Vol. 39, pp.909–916.

